

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : Dr. Jochen BARTH et al.

Serial No. : Not Yet Assigned

Filed : Concurrently Herewith

For : A METHOD OF ENLARGING THE IMAGE FIELD OF A FOCAL PLANE ARRAY  
CAMERA

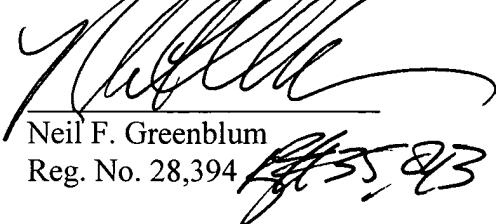
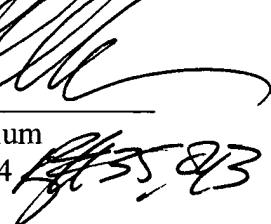
**CLAIM OF PRIORITY**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, Virginia 22313-1450

Sir:

Applicant hereby claims the right of priority granted pursuant to 35 U.S.C. 119 based upon German Application No. 102 59 667.0, filed December 18, 2002. As required by 37 C.F.R. 1.55, a certified copy of the German application is being submitted herewith.

Respectfully submitted,  
Dr. Jochen BARTH et al.

  
Neil F. Greenblum  
Reg. No. 28,394 

December 17, 2003  
GREENBLUM & BERNSTEIN, P.L.C.  
1950 Roland Clarke Place  
Reston, VA 20191  
(703) 716-1191

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 59 667.0  
**Anmeldetag:** 18. Dezember 2002  
**Anmelder/Inhaber:** LFK-Lenkflugkörpersysteme GmbH,  
Unterschleißheim/DE  
**Bezeichnung:** Verfahren zur Vergrößerung des Bildfeldes  
einer Focal-Plane-Array-Kamera  
**IPC:** H 04 N 1/047

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 20. November 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Stark", is placed here.

Stark

## **Verfahren zur Vergrößerung des Bildfeldes einer Focal-Plane-Array-Kamera**

### **Patentansprüche:**

5

1. Verfahren zur Vergrößerung des Bildfeldes einer Focal-Plane-Array-Kamera, bei der das aus  $N$  Pixeln bestehende Bildfeld durch Zusammensetzen von gescannten, jeweils aus  $n$  Pixeln bestehenden Teilbildern erzeugt wird,

10

**dadurch gekennzeichnet,**

daß mit Hilfe von wenigstens zwei kontinuierlich rotierenden refraktiven Prismen ein zykloidisches Scan-Muster gebildet wird, das astroidförmig ausgebildet ist,

15

wobei die Anzahl der den Umkehrpunkten der Scanbewegung entsprechenden Spitzen der Astroidfigur der Anzahl der Teilbilder entspricht und

20

daß die Bewegungsumkehr an den Spitzen der Astroid-Figur dazu genutzt wird, um während der Belichtungszeit eines Einzelbildes die Unschärfe durch das Scan-Verfahren unter der Größe eines Pixels zu halten.

25

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Umkehrpunkt jeweils annähernd in die Mitte der Belichtungszeit der Einzelbilder fällt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß vier Teilbilder mit einer Astroidfigur mit vier Spitzen erzeugt und überlappend zusammengesetzt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß in den Überlappungsbereich der Einzelbilder wenigstens eine Richtmarke (R, R') projiziert wird, deren Position(en) in jedem Einzelbild per Bildverarbeitung vermessen wird/werden und daß daraus die tatsächliche Verschiebung zwischen den Einzelbildern vermessen und das Gesamtbild aus den Einzelbildern exakt zusammengefügt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Richtmarken (R') zeitlich auf wenige Abtastzyklen begrenzt projiziert werden.
- 10 6. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Richtmarken (R) permanent in den Randbereich des Gesamtbildes projiziert werden.

## **Verfahren zur Vergrößerung des Bildfeldes einer Focal-Plane-Array-Kamera**

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Vergrößerung des Bildfeldes einer Focal-Plane-Array-Kamera, bei der das aus N Pixeln bestehende Bildfeld durch Zusammensetzen von gescannten, jeweils aus n Pixeln bestehenden Teilbildern erzeugt wird und Vorrichtungen zu dessen Durchführung.

10 Um ein großes Bildfeld mit einer Focal-Plane-Array Kamera mit hoher Auflösung zu erfassen, ist die Verwendung eines Detektors mit entsprechend großer Zahl von Elementen (Pixeln) erforderlich. Dies führt, insbesondere im IR-Bereich, zu hohen Kosten. Alternativ kann das große Bildfeld aus mehreren zueinander versetzten kleineren Bildern zusammengesetzt werden. Dies erfordert einen "Step-Scan" Mechanismus, durch den die opt. Achse von Einzelbild zu Einzelbild versetzt wird, aber während der Belichtungszeit 15 fixiert bleibt. Dabei ergibt sich insbesondere bei Kameras, die zur Ausrichtung auf einer beweglichen Plattform montiert sind, das Problem, daß die schrittweise ruckartige Bewegung störende Drehmomente erzeugt, die die Ausrichtung ungünstig beeinflussen können. Ferner ist eine schrittweise Bewegung mit erhöhtem Energieverbrauch verbunden.

20 Es ist das Ziel der Erfindung, ein Verfahren zu schaffen, das einen „Step-Scan“ mit kontinuierlich bewegten Scan-Elementen erzeugt.

Dies wird durch die Merkmale nach dem kennzeichnenden Teil des Anspruches 1 erreicht.

25 Das verwendete Scan-Prinzip ist an sich schon lange bekannt, beispielsweise aus J.M. Lloyd, Thermal Imaging Systems, 1975 Plenum Press, N.Y.. Mit zwei rotierenden refraktiven Prismen lassen sich, bei geeigneter Wahl der Ablenkwinkel und der Drehgeschwindigkeiten, verschiedene Scan-Muster erzeugen, u.a. das gemäß der Erfindung vorgeschlagene Astroid-Muster. In der Vergangenheit dienten ähnliche Scan-Muster (Zykloiden) zur Erfassung 30 eines 2-dim Bildfelds mit Hilfe eines Einzeldetektors oder einer Detektorzeile.

Gemäß der Erfindung wird hingegen vorgeschlagen, ein schon zweidimensionales Bild anstelle des Einzeldetektor-Punktes oder der Detektorzeilen-Linie zu verwenden und die Bewegungsumkehr an den Spitzen der Astroid-Figur zu nutzen, um während der Belichtungszeit eines

5 Einzelbilds die Unschärfe durch das Scan-Verfahren unter der Größe eines Pixels zu halten.

Die Realisierung des Step-Scan Verfahrens mit Hilfe kontinuierlich rotierender Prismen gemäß der Erfindung vereinfacht die elektronische Ansteuerung des Scanners, senkt den Energieverbrauch, verringert die im

10 Scannerantrieb entstehende Abwärme und verhindert die Entstehung periodischer Stör-Drehmomente. Diese Vorteile sind von besonderer Bedeutung für den Einsatz des Scanners in Suchköpfen mit Schwenk-, Neigeplattformen, wie sie beispielsweise in Flugkörpern eingesetzt werden.

15 Weitere Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der Beschreibung, in der anhand der Zeichnung ein Ausführungsbeispiel erörtert wird. Es zeigen

Fig. 1 schematisch die Zusammensetzung des Gesamtbildes aus vier Einzelbildern,

20 Fig. 2 schematisch den Aufbau einer zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens dienenden Kameraanordnung,

Fig. 3 den Strahlenverlauf in den beiden gegenläufig drehenden Prismen,

Fig. 4 schematisch die Erzeugung des Scan-Musters,

Fig. 5 das Scanmuster in Parameterdarstellung, und

Fig. 6 eine Darstellung zur Berechnung der Bildverwischung.

25

Fig. 1 zeigt schematisch die Zusammensetzung des Gesamtbildes mit beispielsweise  $456 \times 456$  Pixeln aus vier Einzelbildern 1 - 4 mit je  $256 \times 256$  Pixeln. Der Abstand zwischen den Bildzentren beträgt 200 Pixel; die Überlappungszone ist also jeweils 56 Pixel breit. Die vier Bilder werden an

der Position der Spitzen einer astroidförmigen Scanbewegung S gewonnen, deren Erzeugung im folgenden beschrieben wird. Im Randbereich der Überlappungszonen der Einzelbilder sind vier Positionen R' für Richtmarken angegeben; im zentralen Überlappungsbereich die Position für eine temporäre 5 Richtmarke R zur Justierung des Gesamtbildes.

Fig. 2 zeigt schematisch den Aufbau einer zur Durchführung des 10 erfindungsgemäßen Verfahrens dienenden Kameraanordnung. Diese besteht aus einer Kamera 1, der zwei optische Elemente 2 zur Ablenkung der Blickrichtung vorgeschaltet sind. Eine Vorrichtung 3 dient zur Projektion von Richtmarken.

Fig. 3 zeigt den Strahlenverlauf in den beiden optischen Ablenkelementen. 15 Diese bestehen aus zwei gegenläufig mit den Winkelgeschwindigkeiten  $\omega_A$  und  $\omega_B$  um eine gemeinsame Drehachse kontinuierlich drehenden Prismen A und B. Die optische Achse des Systems wird entsprechend der Drehlage abgelenkt.

Die Anordnungen nach den Figuren 2 und 3 sind Stand der Technik; sie dienen lediglich zur Illustration der folgenden Erläuterungen.

Figur 4 zeigt die Ablenkung der Blickrichtung aufgrund des 20 Zusammenwirkens der beiden Prismen während eines Viertel-Zyklus, nämlich zwischen den Scan-Positionen 1 und 2 der Scanbewegung S. Dabei ist für das komplette Scan-Muster der bzw. die:

$$\begin{aligned}
 \text{Prismen-Ablenkwinkel:} \quad \alpha_A &= 3 \cdot \alpha_B \\
 \text{max. Gesamtablenkwinkel:} \quad \alpha_{\max} &= 4 \cdot \alpha_B \\
 \text{Drehgeschwindigkeit:} \quad \omega_A &= -1/3 \cdot \omega_B.
 \end{aligned}$$

Tatsächlich hängt der Ablenkwinkel an Prisma B bei genauer Betrachtung vom Winkel ab, unter dem die optische Achse auf das Prisma trifft. Die Variation in diesem Auftreffwinkel ist jedoch sehr klein, so daß die folgenden Herleitungen in guter Näherung gelten; für die Beschreibung des Verfahrens 30 sind ohnehin nur die Umkehrpunkte der Scanbewegung von Bedeutung.

Die Parameterdarstellung des Scanmusters nach Fig. 5 ergibt sich zu

$$x = 3\alpha \cdot \cos \omega t + \alpha \cdot \cos 3\omega t$$

$$y = 3\alpha \cdot \sin \omega t - \alpha \cdot \sin 3\omega t$$

mit  $\alpha$  - Skalierungsfaktor für Ablenkinkel

5

Eine Reihenentwicklung um  $t_0 = 0$  (entspr. Punkt „3“) ergibt:

$$x = 3\alpha \cdot (1 - 0.5 \omega^2 t^2) + \alpha \cdot (1 - 4.5 \omega^2 t^2)$$

$$= 4\alpha - 6\alpha \omega^2 t^2$$

$$y = 3\alpha \cdot \omega t - 3\alpha \cdot \omega t + O(\omega t)^3$$

$$= O(\omega t)^3$$

15

d.h. die Scangeschwindigkeit bei  $t_0 = 0$  verschwindet; für  $|t_0| \ll 1$  wächst die Scangeschwindigkeit in einer Achse quadratisch mit  $t$ , in der anderen Achse nur mit  $t^3$ .

Dies gilt für alle Eckpunkte des Scan-Musters.

20

Es ergibt sich zwanglos, daß bei einem um  $45^\circ$  gedrehten Scan-Muster nach Figur 5 ein rechteckiges Gesamtbildfeld aus vier rechteckigen Einzelbildern zusammengesetzt wird.

25

Die Berechnung der Bildverwischung um  $t_0 = 0$  (entspr. Punkt „3“) ergibt sich nach Figur 6 zu

$$x = x_0 - \delta x = 4\alpha - 6\alpha \omega^2 \delta t^2$$

30

$$\delta x = 6\alpha \omega^2 \delta t^2.$$

Mit  $x_0 = 4\alpha$  erhält man

$$\delta x = (3/2) x_0 \omega^2 \delta t^2.$$

35

mit  $L = \sqrt{2} x_0$ ;  $\omega = 2\pi/T_{\text{Per.}} = \pi/(2\Delta t)$ ; und  $\delta t = t_{\text{int}}/2$  ergibt sich:

40

$$\delta x = 3\pi^2/(32\sqrt{2}) \cdot (t_{\text{int}}/\Delta t)^2 \cdot L$$

$$= 0.65 \cdot (t_{\text{int}}/\Delta t)^2 \cdot L$$

Dabei sind

- $\delta x$  - Größe der Bildverwischung in x-Richtung
- $\delta t$  - für die Bildverwischung relevante Zeitdauer
- 5  $L$  - räumlicher Versatz zwischen zwei Bildern
- $T_{\text{Per.}}$  - Umlaufperiode für Astroid-Figur
- $\Delta t$  - zeitlicher Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Teilbildern
- $t_{\text{int}}$  - Integrationszeit für ein Bild.

10

Die Bildverwischung während der Belichtungszeit erfolgt entlang der Pixel-Diagonalen. Damit die Bildverwischung innerhalb eines Pixels bleibt, ergibt sich aus obiger Formel folgendes Verhältnis von Belichtungszeit zu Scanzeit („Scan-Effizienz“):

15

$$\delta x = 0.65 \cdot (t_{\text{int}} / \Delta t)^2 \cdot L < \sqrt{2} \quad (L \text{ in Einheiten der Pixel-Kantenlänge})$$

$$t_{\text{int}} / \Delta t < \sqrt{(2/200)} = 1:10$$

Damit ergibt sich eine geeignete Lösung für die gestellte Aufgabe.

20

Es wird darauf hingewiesen, daß anstelle der im beschriebenen Ausführungsbeispiel verwendeten refraktiven Prismen auch andere geeignete Bauelemente zum Ablenken der optischen Achse verwendet werden können, wie Spiegelflächen oder aktive optische Komponenten, soweit der zu verarbeitende Spektralbereich dies zuläßt.

25

Ferner können zur Erzeugung der Scanbewegung ggf. auch mehr als zwei Elemente verwendet werden.

Eine Feinjustage der optischen Achse ist zusätzlich durch eine Verkipfung der Drehachsen der Prismen möglich.

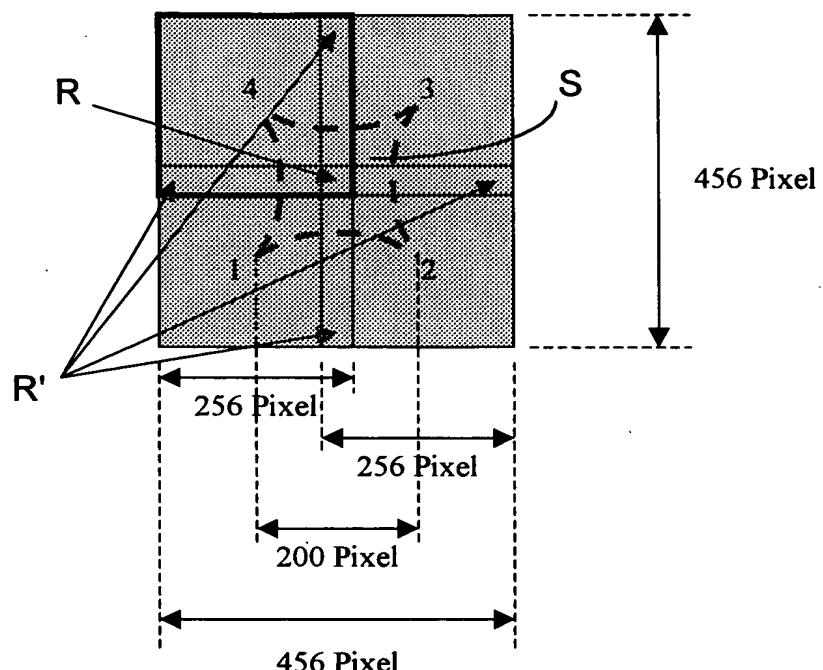


Fig. 1

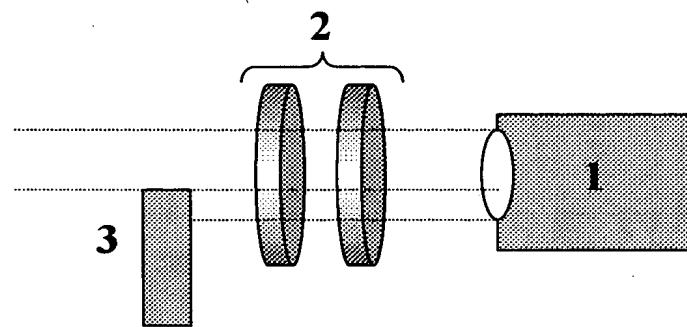


Fig. 2

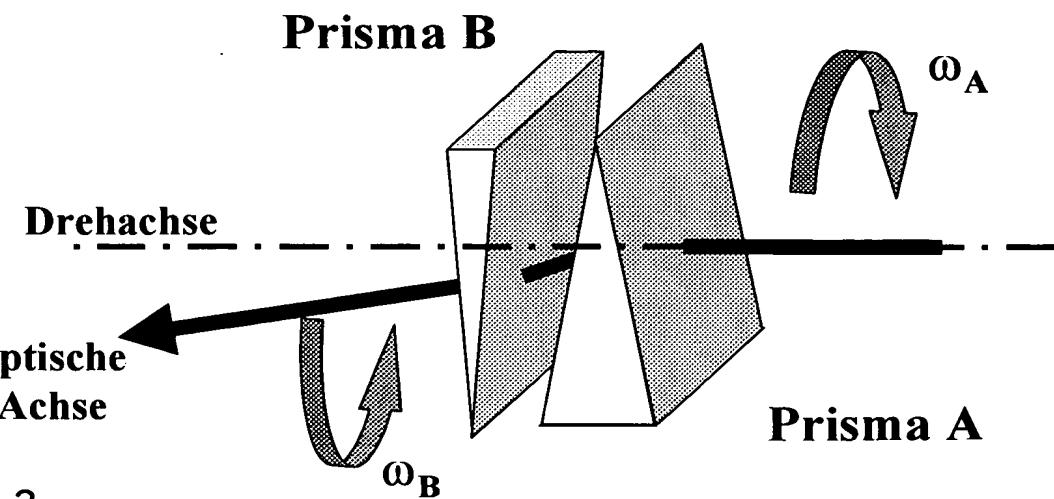


Fig. 3

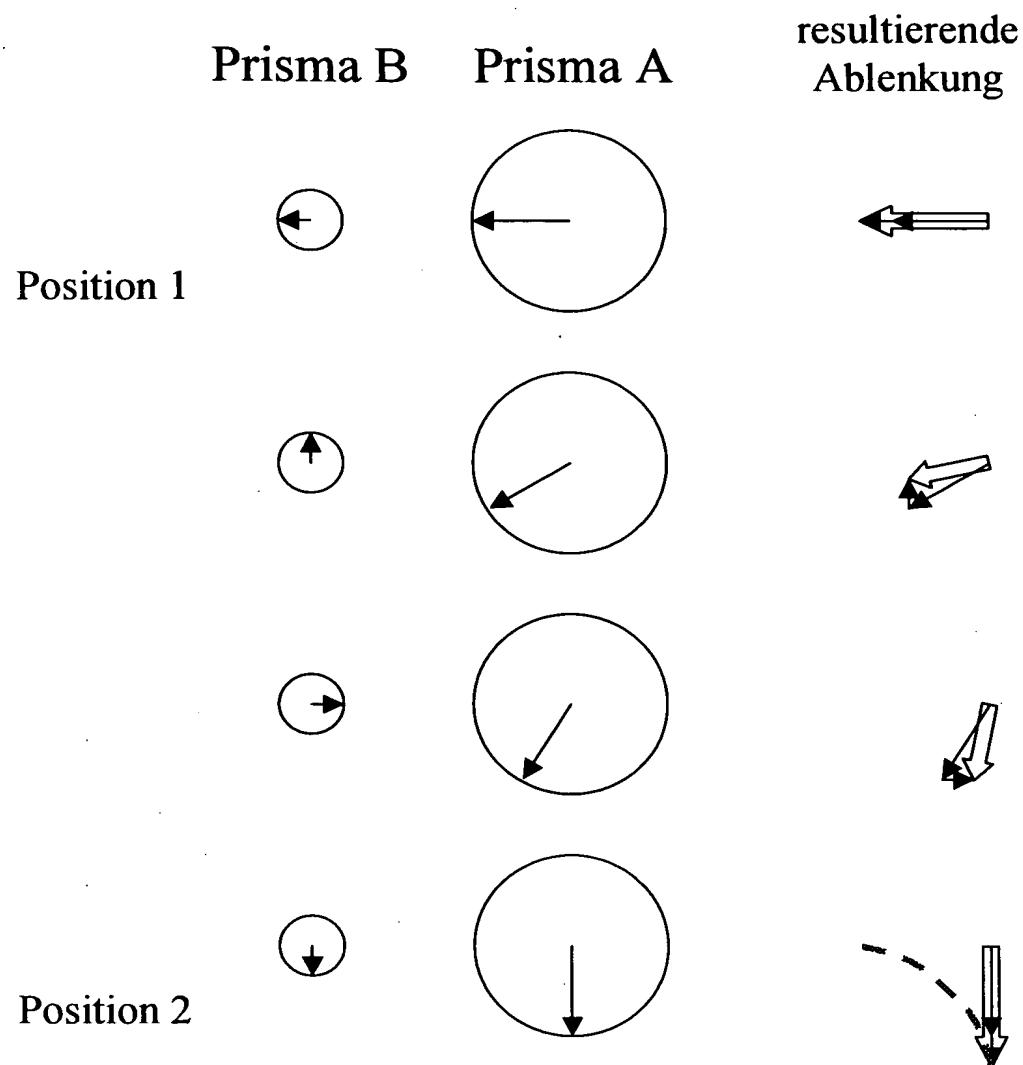
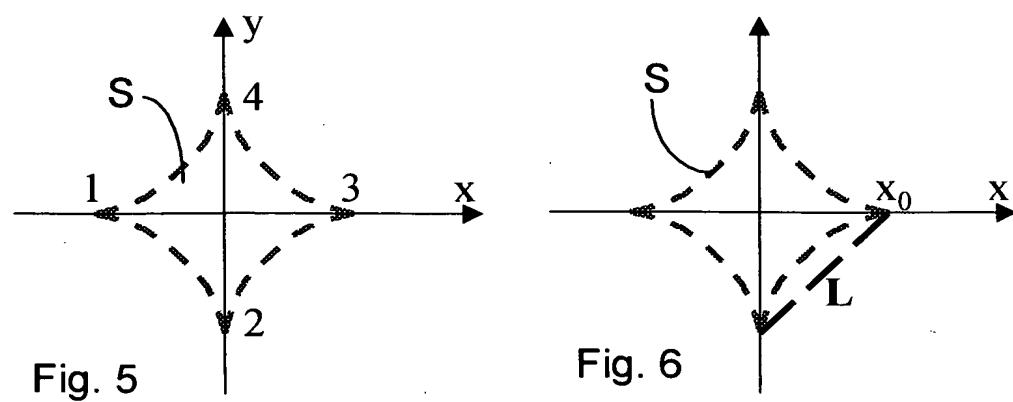
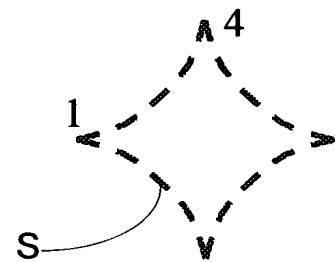


Fig. 4



## **Verfahren zur Vergrößerung des Bildfeldes einer Focal-Plane-Array-Kamera**

### **Zusammenfassung**

5 Es wird ein Verfahren zur Vergrößerung des Bildfeldes einer Focal-Plane-Array-Kamera, bei der das aus N Pixeln bestehende Bildfeld durch Zusammensetzen von gescannten, jeweils aus n Pixeln bestehenden Teilbildern erzeugt wird, vorgeschlagen, bei dem mit Hilfe von wenigstens zwei kontinuierlich rotierenden refraktiven Prismen ein zykloidisches Scan-  
10 Muster gebildet wird, das astroidförmig ausgebildet ist, wobei die Anzahl der den Umkehrpunkten der Scanbewegung entsprechenden Spitzen der Astroidfigur der Anzahl der Teilbilder entspricht und die Bewegungsumkehr an den Spitzen der Astroid-Figur dazu genutzt wird, um während der Belichtungszeit eines Einzelbildes die Unschärfe durch das Scan-Verfahren  
15 unter der Größe eines Pixels zu halten.

Das Verfahren setzt voraus, daß die Integrationszeit eines Einzelbilds der Kamera kurz ist im Vergleich zur Zeit zwischen zwei Einzelbildern. Andererseits läßt sich die Totzeit zwischen den Einzelbildern sinnvoll nutzen um ein erweitertes Bildfeld zu erfassen.

20 Die Realisierung des Step-Scan Verfahrens mit Hilfe kontinuierlich rotierender Prismen gemäß der Erfindung vereinfacht die elektronische Ansteuerung des Scanners, senkt den Energieverbrauch, verringert die im Scannerantrieb entstehende Abwärme und verhindert die Entstehung periodischer Stör-Drehmomente. Diese Vorteile sind von besonderer  
25 Bedeutung für den Einsatz des Scanners in Suchköpfen mit Schwenk-, Neigeplattformen, wie sie beispielsweise in Flugkörpern eingesetzt werden.

Figur 1

